

Исследование фазового состава наночастиц Fe@C в углеродной оболочке методами ЯМР

Прокопьев Дмитрий Андреевич^{1,2}

Гермов Александр Юрьевич², Михалёв Константин Николаевич², Уймин Михаил Александрович^{1,2},
Ермаков Анатолий Егорович^{1,2}, Конев Александр Сергеевич²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

Михалёв Константин Николаевич

prokopen.dima@mail.ru

Нарастающий интерес к магнитным наноматериалам обусловлен их применением в химии, биологии и медицине [1]. Магнитные наночастицы могут применяться в качестве катализаторов химических реакций [2], в качестве контрастного агента магнитно-резонансной томографии (МРТ) [3], а также для адресной доставки лекарств [4]. Отдельный интерес обусловлен изменением магнитных и химических свойств наночастиц, в зависимости от размеров и формы [5].

Удобным, универсальным и эффективным методом в данном случае является ЯМР [16], поскольку традиционные методы исследования фазового состава и кристаллической структуры наночастиц, такие как дифракция рентгеновских лучей и нейтронов, не всегда применимы из-за малых размеров образца [6,7].

Углеродное покрытие, создаваемое в нанокompозитах на основе переходных металлов, предохраняет наночастицы от воздействия агрессивной внешней среды, а также предохраняет биологические ткани от токсичных металлов группы железа [6, 8, 9]. Важно контролировать не только толщину, но и микроструктуру этого покрытия, так как тонкие углеродные слои могут содержать двумерные углеродные структуры (графен), которые вредны для живых тканей [10].

Наночастицы Fe@C были приготовлены методом газофазного синтеза с дальнейшим отжигом при 800-1000 оС. Подробности синтеза описаны в работах [5, 7]. В ходе работы были получены результаты по намагниченности, рентгеновской дифракции и ЯМР спектроскопии образца.

Спектры ЯМР ¹³C регистрировались на импульсном спектрометре ЯМР Bruker AVANCE 500 во внешнем магнитном поле H₀ = 11.747 Т при комнатной температуре, сигналы ЯМР ⁵⁷Fe - в нулевом внешнем магнитном поле при температуре 4.2 К. Для регистрации спектров ЯМР использовалась двух - импульсная последовательность с последующим интегрированием спинового эха с перестройкой частотного тракта через 1 МГц.

Анализ полученных данных показал, что средний размер наночастиц составляет 10 нм. Согласно результатам ЯМР ⁵⁷Fe, в ядре наночастиц Fe@C присутствуют фазы металлического α-Fe (65.2 %), твердого раствора Fe₃C (25 %) и карбида Fe₃C (9.8 %). Спектр ЯМР ¹³C представляет собой неоднородно уширенную линию, относящуюся к стеклоподобному углероду.

Работа выполнена в рамках государственной темы «Функция» № АААА-А19-119012990095-0, «Магнит» № АААА-А18-118020290129-5 и «Сплавы» № АААА-А19-119070890020-3.

Список публикаций:

- [1] L. Mohammed, *Particuology*, 30, 1–14 (2017)
- [2] B. C. Bayer et al., *J. Phys. Chem. C* 120, 22571–22584 (2016)
- [3] D. González-Mancebo et al., *Particle and Particle Systems Characterization* 34, 10 (2017)
- [4] A.M. Demin et al., *Langmuir*, 34(11), 3449 (2018)
- [5] N. Vnukova et al., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 440, 164–166 (2017)
- [6] V. A. Tsurin et al., *Physics of the Solid State* 56, 287 (2014)
- [7] K.N. Mikhalev et al., *Physics of the Solid State* 59, 3, 514–519 (2017)
- [8] K.N. Mikhalev et al., *Mater. Res. Express* 5, 055033 (2018)
- [9] A. Manukyan et al., *NANO: Brief Reports and Reviews* 10, 6 (2015)
- [10] Ou et al., *Particle and Fibre Toxicology* 13, 57 (2016)